

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：85303

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2009～2012

課題番号：21540290

研究課題名（和文） 超対称ゲージ理論の格子定式化とその非摂動的側面の研究

研究課題名（英文） Study of lattice formulations for supersymmetric gauge theories and their nonperturbative aspects

研究代表者

杉野 文彦 (SUGINO FUMIHIKO)

岡山光量子科学研究所・専門研究員

研究者番号：60393419

研究成果の概要（和文）：物質場が結合した 2 次元 $N=(2,2)$ 超対称量子色力学に対し超対称電荷を一つ保つ格子模型を 2 種類構成した。2 次元 $N=(8,8)$ 超対称ヤン・ミルス理論に質量項を導入することで、不安定性のない格子定式化を行った。行列自由度から空間次元を生み出す方法を上の結果に適用して、4 次元 $N=4$ 超対称ヤン・ミルス理論をパラメータの微調整なしに得る手続きを議論した。また、超対称性を持つ二重井戸ポテンシャル行列模型と非自明な背景中の 2 次元タイプ IIA 超弦理論との対応を発見した。

研究成果の概要（英文）：We constructed two kinds of lattice models for two-dimensional $N=(2,2)$ supersymmetric QCD each of which preserves one of supercharges. Next, we formulated a lattice theory without instability for two-dimensional $N=(8,8)$ super Yang-Mills theory by introducing mass terms. Applying to the above result a method that creates spatial dimensions from matrices, we discussed a procedure to obtain $N=4$ super Yang-Mills theory in four dimensions without any fine tuning. Also, we found correspondence of a supersymmetric double-well matrix model with two-dimensional type IIA superstring theory on a nontrivial background.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	700,000	210,000	910,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
2012 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子理論, 格子ゲージ理論, 超対称性, 行列模型

1. 研究開始当初の背景

超対称ゲージ場の理論は素粒子の標準理論を超える物理理論の有力候補の一つである。そのうち 4 次元 $N=2$ 超対称ゲージ理論に対しては、低エネルギー有効理論の構造がサイバークとウィッテンにより解析的に求められている。また、サイバークによって

様々な種類の物質場を含む場合の 4 次元 $N=1$ 超対称量子色力学の低エネルギー有効超ポテンシャルがモデュライ空間と双対性の議論に基づき解析的に導出されている。しかしどちらの場合も、低エネルギー極限に限らない一般のエネルギー領域での解析には従来行われている格子ゲージ理論などの

非摂動的定式化からのアプローチが不可欠と考えられる。その意味で対応する非摂動的定式化を構築し、上述の解析結果を検証することは超対称ゲージ理論の量子論的解析の完成への第一歩となるであろう。

理論の超対称性を全て保つ格子定式化は格子の持つ離散対称性と無限小並進を引き起こす超対称性との相性が悪いため、現在のところ定式化が困難である。2004年に本研究代表者は高い超対称性を持つ理論に注目し、超対称性のうち並進を引き起こさず内部対称性変換を誘導する部分を厳密に保って、その格子定式化を行った。これはゲージ理論において部分的ではあるが格子上で超対称性を厳密に実現している例となっている。

標準模型を超える物理理論の概観に戻ると、重力を含むすべての相互作用の統一理論の有力候補の一つとして超弦理論がある。マルダセナにより、超対称ゲージ理論と超弦理論との明確な対応の予想が提出されている。この予想は一方の理論の弱結合ともう一方の強結合の対応を与えるものであり、直接検証のためには少なくともどちらか一方の理論の非摂動的取り扱いが必要である。上述の超対称ゲージ理論の格子模型をさらに発展させ、この双対性の一般的検証を可能にすることの意義は極めて大きいだろう。

2. 研究の目的

超対称ゲージ理論の非摂動的側面に関して、低エネルギー有効理論の枠を超えた新たな知見を得、理解を深めることを主眼とする。

(1) 2次元 $N=(2,2)$ 超対称ゲージ理論において、モデュライ空間と双対性の議論から得られる低エネルギー有効理論を、対応する格子理論を構成し検証する。更に、低エネルギー極限に限らない、全エネルギー領域に渡る理論の振る舞いに関する知見を得る。

(2) 2次元 $N=(4,4)$ および $(8,8)$ 超対称ヤン・ミルス理論に対して、これまでの超対称性を保つ格子定式化を拡張する。後者の理論はゲージ群のランクが無限大の極限で超弦理論を記述すると予想されているので、超弦理論の非摂動的解析にも有効な手段を与えると期待される。

3. 研究の方法

(1) まず、これまでに格子模型を構成した2次元 $N=(2,2)$ 超対称ヤン・ミルス理論に物質場を加えた、2次元 $N=(2,2)$ 超対称量子色力学に対する格子定式化を行う。この格子理論における物質場の様々な超ポテンシャルの場合に数値解析を行うことを目指して、摂動的な解析を行い、連続極限の際に取るべきパラメータの微調整の様子を調べる。

(2) 2次元 $N=(4,4)$ および $(8,8)$ 超対称ヤン・ミルス理論の格子定式化は、これまで真空の縮退の問題のため困難であった。2次元 $N=(2,2)$ 超対称ヤン・ミルス理論の場合には同様の困難を克服できたが、そこでの手法は今の場合に適用できないため、新たな方法を模索する必要がある。カイラル対称性を格子上に実現するギンスバーグ・ウィルソン定式化や、行列模型において行列の自由度から空間次元を生み出す方法などを参考にして、問題の解決法を探る。

4. 研究成果

(1) 2次元 $N=(2,2)$ 超対称量子色力学の非摂動的側面に関する成果。

①連携研究者の菊川芳夫氏と共同で、ギンスバーグ・ウィルソン定式化を用いた2次元 $N=(2,2)$ 超対称量子色力学に対する格子模型の構築を行った。この模型は格子上で超対称電荷を一つ保ち、様々な物質場の超対称多重項について一般的な超ポテンシャルの場合を扱うことができる。適用範囲は極めて広く、超弦理論や代数幾何学におけるミラー対称性の検証にも応用できると考えられる。

②連携研究者の鈴木博氏と加堂大輔氏との共同研究では、同じ理論の別の格子定式化を行った。①の格子模型は広い適用範囲を持つが、ギンスバーグ・ウィルソン定式化を用いているため作用関数は複雑な形であり、実際の数値シミュレーションへの応用においては完全に望ましいとは言えない。ここでは超対称電荷を一つ保つが、ギンスバーグ・ウィルソン定式化を用いない簡単な格子模型の構築を試みた。構成できたのは物質場多重項はすべてゲージ群の基本表現あるいはすべて反基本表現の場合で、かつ超ポテンシャルがない場合であった。そのため適用範囲は限られるが、ゲージ化された線形シグマ模型などいくつかの興味ある場合の非摂動的側面の解析手段を与えるものとなっている。

(2) 2次元 $N=(4,4)$ および $(8,8)$ 超対称ヤン・ミルス理論の格子定式化に関する成果。

花田政範氏、松浦壮氏との共同研究で2次元 $N=(4,4)$ および $(8,8)$ 超対称ヤン・ミルス理論に対する格子理論を構築した。2個の超対称電荷をあらわに保つ質量項を導入する変形を行うと、スカラー場の平坦方向が持ち上がり、これまで困難であった格子作用の真空の縮退の問題を解決できることを見出した。この方法で格子定式化を行い、パラメータの微調整なしに連続理論が得られることを摂動論の範囲内で解析的に示した。

2次元 $N=(8,8)$ 超対称ヤン・ミルス理論はゲージ群のランクが無限大の極限でタイプ

IIA 超弦理論を与えるという予想がある。また、2次元 $N=(4, 4)$ 超対称ヤン・ミルス理論は超弦理論におけるソリトンの配位の D1-ブレーンと D5-ブレーンの束縛状態を表すことが議論されている。そのため、構成された格子理論は超対称ゲージ場の量子論についてのみならず、超弦理論についても意義深い知見を与えてくれると期待される。

(3) 2次元 $N=(8, 8)$ 超対称ヤン・ミルス理論の格子理論から 4次元 $N=4$ 超対称ヤン・ミルス理論の非摂動的構成に関する成果。

①(1)で述べた質量項により変形された 2次元 $N=(8, 8)$ 超対称ヤン・ミルス理論はファジー球面を表す古典解を持ち、その周りで展開すると 2次元平面×ファジー球面上の 4次元 $N=4$ 超対称ヤン・ミルス理論が得られる。これは行列模型における行列自由度から空間次元が現われる機構に他ならない。ファジー球面の半径を無限大にとり非可換平面にした後、非可換パラメータをゼロにする極限をとると、通常の平坦な 4次元空間上の超対称 $N=4$ ヤン・ミルス理論が得られると考えられる。

一般に非可換空間上の場の量子論は非局所的で、非可換パラメータをゼロにする極限が通常の可換な空間上の場の理論に一致しないことが知られている。しかし、理論が共形不変性を持つ 4次元 $N=4$ 超対称ヤン・ミルス理論の場合は例外的で、非可換パラメータをゼロにする極限が通常の 4次元空間上の理論を与えると思われている。

花田政範氏、松浦壮氏との共同研究で、上の 4次元 $N=4$ 超対称ヤン・ミルス理論を得る操作が理論の紫外発散の構造を変えないならば、量子論的にも 4次元 $N=4$ 超対称ヤン・ミルス理論が正しく得られることを議論した。この構成法は 4次元理論を得るために紫外発散に伴うパラメータの微調整を必要とせず、任意の $U(N)$ ゲージ群に対し有効である。

マルダセナにより予想された、4次元 $N=4$ 超対称ヤン・ミルス理論と AdS 空間上のタイプ IIB 超弦理論との対応は、ラージ N 極限および超重力理論の極限で明確な議論が与えられている。我々の構成法により、これらの極限を超えた領域での対応の議論が可能になると期待される。

②①の構成法を摂動論的に検証するために連携研究者の鈴木博氏に加わってもらい、5つのスカラー場の量子補正を含む運動項を計算した。通常の非可換空間上の場の理論に現われる非プラナーグラフに特徴的な紫外・赤外領域の特異性の混合が、この場合には起こらず、微調整の必要なく望みの 4次元

$N=4$ 超対称ヤン・ミルス理論が得られることを確認した。この結果は論文執筆中の状況である。

(4) 2次元 $N=(4, 4)$ 超対称ヤン・ミルス理論から 4次元 $N=2$ 超対称ヤン・ミルス理論の非摂動的構成に関する成果。

花田政範氏、松浦壮氏との共同研究で(3)①と同様の方法を用いて、2次元 $N=(4, 4)$ 超対称ヤン・ミルス理論から 4次元 $N=2$ 超対称ヤン・ミルス理論を構成することを試みた。この場合は 4次元空間は非可換性を持つものとなり、通常の可換な 4次元空間上の理論とは異なるものになる。しかし、非可換空間上の理論はそれ自身として、4次元 $N=2$ 超対称ヤン・ミルス理論のモデュライ空間の正則化の問題などに関係して、興味深い対象である。また、物質場と結合した 4次元 $N=2$ 超対称量子色力学において共形不変性を示す場合があり、その場合は 4次元 $N=4$ 超対称ヤン・ミルス理論での事情と同様にして、我々の構成法により通常の 4次元空間上の $N=2$ 超対称量子色力学系が得られる可能性がある。

(5) 超対称行列模型に関する成果。

① 黒木経秀氏と共同で、超対称性の破れた系の非摂動的取り扱いに関して、通常の自発的対称性の破れの場合と同様に対称性をあらわに破る外場を導入して議論を行った。超対称性が自発的に破れる場合、超対称分配関数はゼロになるため、様々な演算子の期待値が定義できなくなる。ここでの外場は超対称分配関数に外場に依存する小さい値を与えて正則化する役割も演じていて、上の困難が回避されることがわかる。

特に超対称行列模型において、行列のサイズが無限大の時にのみ超対称性が初めて破れる模型を構成することに成功した。行列模型による超弦理論の非摂動的定式化の観点では、行列サイズ N が有限の行列模型はある種の格子正則化された超弦理論とみなすことができ、 N 無限大極限が連続極限に対応する。現実の自然界では超対称性は破れているべきなので、この破れの機構は行列模型を用いた超弦理論の定式化において興味深い。

②超対称性を持つ理論では局所化やニコライ写像という技術がしばしば有用だが、超対称性が自発的に破れる場合にもそれらの技術は依然として有効なのか？そうでないならば修正を加えることで有効性が回復するのか？に関して、超対称行列模型を題材にして調べ、黒木経秀氏と論文を執筆した。

特に、ニコライ写像は超対称性をあらわに破る外場を導入した後も有効に働くことがわかった。これは超対称性が自発的に破れる

系を解析する上で重要な役割を果たすと期待される。

③ 二重井戸ポテンシャルを持つ超対称行列模型を解析し、これまでの行列模型に見られなかった \log のべき乗の形の新しい臨界的振る舞いを発見し、それが非自明な背景中の 2 次元タイプ IIA 超弦理論に対応することを対称性とスペクトルの観点から議論し、黒木経秀氏と共同で論文にまとめた。この対応は、これまでの超弦理論のソリトンの配位である D-ブレーンを用いたものとは異なる、質的に新しい対応である可能性がある。

2 次元タイプ IIA 超弦理論の様々な散乱振幅を計算し、上の行列模型の相関関数と直接比較して、力学的な観点から対応を確認することを行い、黒木経秀氏と現在論文を執筆中である。

また、二重井戸ポテンシャルの超対称行列模型は、②で取り上げた超対称性が自発的に破れる系であるが、その破れはトンネル効果によるため行列サイズ N 無限大の極限で消えると考えられる。だが、行列模型が 2 次元タイプ IIA 超弦理論を記述するには単純な N 無限大極限ではなく、二重スケーリング極限と呼ばれる操作が必要になる。この操作のもとで超対称性の破れが残るか否かは、非自明な問題であり、もし残るのであれば対応する超弦理論において超対称性が自発的に破れることを意味する。連携研究者の鈴木博氏、Machael G. Endres 氏、黒木経秀氏と共同で、二重スケーリング極限の下で超対称性の破れを計算し、残ることを示した。これは超弦理論において、非摂動ダイナミクスから超対称性が破れることをあらわに示した初めての例であり、極めて意義は大きい。この内容は、現在論文執筆中である。

この一連の行列模型の研究は、高次元超対称ゲージ理論の非摂動的定式化の基礎を与えるのみならず、これまででない行列模型と超弦理論の対応を与えると考えられるので、現在も継続して研究を行っている状況である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 17 件)

① Fumihiko Sugino, ``Recent development of supersymmetric gauge theories on lattice,`` International Journal of Modern Physics: Conference Series 21 (2013) 22-41. 査読有

DOI: 10.1142/S2010194513009380

② Tsunehide Kuroki and Fumihiko Sugino, ``New critical behavior in a

supersymmetric double-well matrix model,`` Nuclear Physics B867 (2013) 448-482. 査読有

DOI: 10.1016/j.nuclphysb.2012.09.020

③ Fumihiko Sugino, ``Spontaneous Breaking of Supersymmetry, Localization and Nicolai Mapping in Matrix Models,`` Lie Theory and Its Applications in Physics: IXth International Workshop, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics 36 (2013) 169-180. 査読有
<http://www.springer.com/mathematics/algebra/book/978-4-431-54269-8>

④ Fumihiko Sugino, ``Spontaneous supersymmetry breaking in matrix models from the viewpoints of localization and Nicolai mapping,`` Journal of Physics: Conference Series 343 (2012) 12117 (14pp). 査読有

DOI: 10.1088/1742-6596/343/1/012117

⑤ Masanori Hanada, So Matsuura and Fumihiko Sugino, ``Non-perturbative construction of 2D and 4D supersymmetric Yang-Mills theories with 8 supercharges,`` Nuclear Physics B857 (2012) 335-361. 査読有

DOI: 10.1016/j.nuclphysb.2011.12.014

⑥ Yoshinobu Habara, Hikaru Kawai, Masao Ninomiya and Yasuhiro Sekino, ``Possible origin of CMB temperature fluctuations Kaluza-Klein and string states during inflationary era,`` Physical Reviews D85 (2012) 104027 (16pp). 査読有

DOI: 10.1103/PhysRevD.85.104027

⑦ Yoshinobu Habara, Hikaru Kawai, Masao Ninomiya and Yasuhiro Sekino, ``CMB Fluctuations and String Compactification Scales,`` Physics Letters B707 (2012) 198-202. 査読有

DOI: 10.1016/j.physletb.2011.12.018

⑧ Fumihiko Sugino, ``Two-dimensional lattice for four-dimensional supersymmetric Yang-Mills,`` Proceedings of the 6th Mathematical Physics Meeting: Summer School and Conference on Modern Mathematical Physics, 282-302. 査読無

⑨ Masanori Hanada, Issaku Kanamori, So Matsuura and Fumihiko Sugino, ``Recent progress of lattice and non-lattice super Yang-Mills,`` Pos LATTICE2011 (2011) 243 (7pp). 査読無

http://pos.sissa.it/archive/conferences/139/243/Lattice%202011_243.pdf

⑩ Jun Nishimura, Toshiyuki Okubo and Fumihiko Sugino, ``Systematic study of $SO(10)$ symmetry breaking vacua in the matrix model for type IIB superstrings,``

Journal of High Energy Physics 10 (2011) 135 (34pp). 査読有

DOI: 10.1007/JHEP10(2011)135

⑬ Tsunehide Kuroki and Fumihiko Sugino, ``Spontaneous supersymmetry breaking in matrix models from the viewpoints of localization and Nicolai mapping,`` Nuclear Physics B844 (2011) 409-449. 査読有

DOI: 10.1016/j.nuclphysb.2010.11.015

⑭ Masanori Hanada, So Matsuura and Fumihiko Sugino, ``Two-dimensional lattice for four-dimensional $N=4$ supersymmetric Yang-Mills,`` Progress of Theoretical Physics 126 (2011) 597-611. 査読有

DOI: 10.1143/PTP.126.597

⑮ Yoshio Kikukawa and Fumihiko Sugino, ``Ginsparg-Wilson formulation of 2D $N=(2,2)$ SQCD with exact lattice supersymmetry,`` AIP conference Proceedings 1243 (2010) 201-212. 査読無

DOI: 10.1063/1.3460166

⑯ Tsunehide Kuroki and Fumihiko Sugino, ``Spontaneous supersymmetry breaking in large- N matrix models with slowly varying potential,`` Nuclear Physics B830 (2010) 434-473. 査読有

DOI: 10.1016/j.nuclphysb.2009.12.021

⑰ Daisuke Kadoh, Fumihiko Sugino and Hiroshi Suzuki, ``Lattice formulation of 2D $N=(2,2)$ SQCD based on the B model twist,`` Nuclear Physics B820 (2009) 99-115. 査読有

DOI: 10.1016/j.nuclphysb.2009.05.012

⑱ Yoshio Kikukawa and Fumihiko Sugino, ``Ginsparg-Wilson formulation of 2D $N=(2,2)$ SQCD with exact lattice supersymmetry,`` Nuclear Physics B819 (2009) 76-115. 査読有

DOI: 10.1016/j.nuclphysb.2009.04.007

⑲ Fumihiko Sugino, ``Lattice formulation of 2D SQCD with exact supersymmetry,`` AIP conference Proceedings 1078 (2009) 426-428. 査読無

DOI: 10.1063/1.3051982

[学会発表] (計 24 件)

① M. G. Endres, 黒木 経秀, 杉野 文彦, 鈴木 博, 「超対称非臨界弦理論における超対称性の自発的破れ」, 日本物理学会 第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 27 日, 広島大学

② 杉野 文彦, ``Lectures on SUSY on lattice,`` 計算基礎科学レクチャー「超対称性をもつ場の理論の格子定式化の基礎と応用」, 2012 年 12 月 18 日, 高エネルギー加速器研究機構

③ Fumihiko Sugino, ``A SUSY double-well matrix model for 2D IIA superstrings,`` 滞在型国際研究会 Gauge/gravity duality, 2012 年 10 月 24 日, 京都大学基礎物理学研究所

④ Fumihiko Sugino, ``A double-well SUSY matrix model for 2D type IIA superstrings in RR background,`` 7th Mathematical Physics Meeting: Summer School and Conference on Modern Mathematical Physics, 2012 年 9 月 14 日, ベオグラード大学 (セルビア)

⑤ 黒木 経秀, 杉野 文彦, ``Nonperturbative formulation of covariant noncritical superstring with target space SUSY,`` 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 14 日, 京都産業大学

⑥ 杉野 文彦, ``A double-well SUSY matrix model for 2D type IIA superstrings in RR background,`` 研究会「離散的手法による場と時空のダイナミクス」, 2012 年 8 月 31 日, 理化学研究所

⑦ Fumihiko Sugino, ``A double-well SUSY matrix model for 2D type IIA superstrings,`` The XXIX International Colloquium on Group-Theoretical Methods in Physics, 2012 年 8 月 20 日, 南開大学 (中国)

⑧ 杉野 文彦, ``A double-well SUSY matrix model as 2D type IIA superstrings in RR background,`` 基研研究会「場の理論と弦理論」, 2012 年 7 月 25 日, 京都大学基礎物理学研究所

⑨ Fumihiko Sugino, ``Recent development of supersymmetric gauge theories on lattice,`` 国際会議 Progress in Quantum Field Theory and String Theory, 2012 年 4 月 3 日, 大阪市立大学

⑩ Fumihiko Sugino, ``Spontaneous supersymmetry breaking in matrix models from the viewpoints of localization and Nicolai mapping,`` The VIIth International Conference: Quantum Theory and Symmetries, 2011 年 8 月 10 日, チェコ工科大学 (チェコ)

⑪ 杉野 文彦, ``Perturbative check of the construction of 4D $N=4$ SYM from 2D lattice,`` 基研研究会「場の理論と弦理論」, 2011 年 7 月 27 日, 京都大学基礎物理学研究所

⑫ Fumihiko Sugino, ``Spontaneous supersymmetry breaking in matrix models from the viewpoints of localization and Nicolai mapping,`` IX International Workshop: Lie Theory and Its Applications in Physics, 2011 年 6 月 21 日, ブルガリア科学アカデミーゲストハウス (ブルガリア)

- ⑬ Fumihiko Sugino, “Supersymmetry on the Lattice IV,” Asian School on Lattice Field Theory 2011, 2011年3月25日, タタ基礎研究所 (インド)
- ⑭ Fumihiko Sugino, “Supersymmetry on the Lattice III,” Asian School on Lattice Field Theory 2011, 2011年3月24日, タタ基礎研究所 (インド)
- ⑮ Fumihiko Sugino, “Supersymmetry on the Lattice II,” Asian School on Lattice Field Theory 2011, 2011年3月22日, タタ基礎研究所 (インド)
- ⑯ Fumihiko Sugino, “Supersymmetry on the Lattice I,” Asian School on Lattice Field Theory 2011, 2011年3月21日, タタ基礎研究所 (インド)
- ⑰ 杉野 文彦, “Spontaneous Supersymmetry Breaking in Matrix Models from the Viewpoints of Localization and Nicolai Mapping,” KEK 理論研究会 2011, 2011年3月14日 (の予定であったが、東日本大震災のため中止), 高エネルギー加速器研究機構
- ⑱ Fumihiko Sugino, “Two-dimensional lattice for four-dimensional supersymmetric Yang-Mills,” 6th Mathematical Meeting: Summer School and Conference on Modern Mathematical Physics, 2010年9月22日, ベオグラード大学 (セルビア)
- ⑲ Fumihiko Sugino, “Lattice Supersymmetry,” Strong Dynamics Beyond the Standard Model, 2010年6月11日, アスペン物理センター (米国)
- ⑳ Fumihiko Sugino, “Lattice formulation of supersymmetric gauge theories with exact supersymmetry,” 国際研究会 Komaba2010, 2010年2月13日, 東京大学駒場キャンパス
- ㉑ Fumihiko Sugino, “Spontaneous supersymmetry breaking in large- N matrix models with slowly varying potential,” Workshop “Numerical approaches to AdS/CFT, large N and gravity”, 2009年10月1日, インペリアルカレッジ・ロンドン (英国)
- ㉒ 杉野 文彦, 「超対称ゲージ理論の格子定式化に関する最近の話題」, 日本物理学会 2009年秋季大会, 2009年9月10日, 甲南大学岡本キャンパス
- ㉓ Fumihiko Sugino, “Lattice formulation of 2D $N=(2, 2)$ SQCD and twisted supercharges,” Sixth International Symposium on Quantum Theory and Symmetries, 2009年7月20日, ケンタッキー大学 (米国)
- ㉔ Fumihiko Sugino, “Ginsparg-Wilson formulation of 2D $N=(2, 2)$ SQCD with Exact

Lattice Supersymmetry,” Lie Theory and Its Applications in Physics VII, 2009年6月16日, ブルガリア科学アカデミーゲストハウス (ブルガリア)

[図書] (計2件)

- ① Mohammad Reza Pahlavani (editor), Fumihiko Sugino et al, INTECH, Theoretical Concepts of Quantum Mechanics, 2012, 598pp (本研究代表者担当分 383-408)
- ② 二宮 正夫, 杉野 文彦, 杉山 忠男, 講談社, 量子力学 II, 2010, 212pp (本研究代表者担当分 55-191, 本研究分担者担当分 18-54)

[その他]

解説記事

- ① 杉野 文彦, 「連続な量子」日経サイエンス 2013年6月号 68-72.

アウトリーチ活動情報 (計16件)

- ① 杉野 文彦, 出前講座「素粒子と宇宙の不思議」, 2012年6月9日, 津山高校
- ② 杉野 文彦, 出前講座「相対性理論とは?—光より速く進めるか?—」, 2011年12月13日, 岡山操山高校
- ③ 杉野 文彦, 出前講座「剛体の力学」, 2011年3月4日, 岡山朝日高校
- ④ 杉野 文彦, 出前講座「ひも理論って何? = 宇宙の究極理論?」, 2009年12月21日, 岡山朝日高校
- ⑤ 杉野 文彦, 出前講座「微分・積分先取り講座2」, 2009年10月30日, 岡山朝日高校

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉野 文彦 (SUGINO FUMIHIKO)
岡山光量子科学研究所・専門研究員
研究者番号: 60393419

(2) 研究分担者

二宮 正夫 (NINOMIYA MASAO)
岡山光量子科学研究所・所長
研究者番号: 40198536

(3) 連携研究者

鈴木 博 (SUZUKI HIROSHI)
独立行政法人理化学研究所・初田量子ハドロ
ン物理学研究室・専任研究員
研究者番号: 90250977
菊川 芳夫 (KIKUKAWA YOSHIO)
東京大学・総合文化研究科・准教授
研究者番号: 20252421